

600 MW 亚临界 W 型火焰锅炉低氮燃烧特性数值模拟

吕当振¹, 马 仑², 段学农¹, 方庆艳²

(1. 国网湖南省电力公司 电力科学研究院, 湖南 长沙 410007; 2. 华中科技大学 煤燃烧国家重点实验室, 湖北 武汉 430074)

摘要: 对某电厂 600 MW 亚临界 W 型火焰锅炉低氮燃烧系统改造前、后炉内的烟气流动、燃烧、传热及 NO_x 排放特性进行了数值模拟, 模拟结果与试验测试结果符合性较好。模拟结果表明: 乏气风下移以及 F 风下倾等改造策略提高了炉拱区域回流强度和煤粉气流卷吸高温烟气的的能力, 从而缩短了着火距离, 改善了火焰着火和稳燃特性。与此同时, 低氮燃烧系统改造加强了二次风对煤粉气流的引射作用, 增加了火焰下冲深度, 延长了煤粉颗粒炉内停留时间, 提高了下炉膛火焰充满度和煤粉燃尽特性。此外增设 SOFA(分离型燃尽风), 实现了空气深度分级燃烧, 使得主燃烧区域处于富燃料贫氧还原性气氛, 生成的 NO 被大量还原, 有效抑制了 NO 产生。现场试验结果表明: 低氮燃烧调整后炉膛出口 NO_x 排放浓度为 751 mg/m³, 较低氮改造后不投 SOFA 风运行, 且 NO_x 排放浓度 1 501 mg/m³, 降幅 50% 左右。

关键词: W 火焰锅炉; 低氮改造; 燃烧特性; NO_x 排放; 数值模拟

中图分类号: TK223.23 文献标识码: A
DOI:10.16146/j.cnki.rndlgc.2015.04.026

引言

《火电厂大气污染物排放标准》(GB13223-2012) 将燃煤电站锅炉 NO_x (以 NO₂ 计, 6% O₂) 排放浓度限定为 100-200 mg/m³ (对重点地区的火电机组始终控制在 100 mg/m³)。与此同时, 相比四角切圆、对冲燃烧等炉型而言, W 火焰锅炉 NO_x 排放浓度明显偏高, 因此对 W 锅炉展开低氮改造具有重要现实意义。目前, 对低 NO_x 燃烧技术采用数值模拟的方法进行研究的比较多, 主要是从燃煤、燃烧器、燃烧系统以及运行工况等方面加以控制^[1-7]。本研究借助 CFD (计算流体力学) 软件对某电厂 600 MW 亚临界 W 火焰锅炉, 在满负荷下对改造前、后炉内流动、燃烧、传热及污染物 NO_x 排放等特性进

行数值模拟, 期望能为同类炉型的改造及优化研究提供参考。

1 研究对象

该锅炉是东方锅炉(集团)股份有限公司生产的 1 778 t/h 自然循环、一次中间再热、露天布置、全钢架悬吊结构、平衡通风、固态排渣和 II 型汽包锅炉。炉膛分为上、下两部分, 总高度 50 150 mm, 上炉膛尺寸 34 480 mm × 9 906 mm, 下炉膛尺寸 34 480 mm × 16 012 mm。下炉膛呈双拱形, 在其水冷壁上及炉拱附近敷设卫燃带。采用 W 型火焰燃烧方式, 整台锅炉共配有 6 台双进双出磨煤机, 每台磨煤机带 6 只煤粉燃烧器, 共 36 只双旋风煤粉燃烧器错列布置在炉膛前、后炉拱上, 前墙和后墙各 18 只。

锅炉低氮燃烧系统改造方案为: 将原有每个燃烧器单元乏气风管从拱上引至拱下, 布置在拱下炉膛前、后水冷壁上, 并在原乏气喷口处安装全新二次风喷嘴; 取消原 D、E 风门, 并在新安装的乏气风喷口处加装周界风喷口, 喷口下倾 30°角; 每个单元分级风 F 布置于每个燃烧器下部, 下倾 20°角送入炉膛; 总风量 20% 的燃尽风下倾 30°角送入炉膛, 实现空气深度分级, 抑制 NO_x 的生成。改造前、后燃烧系统如图 1 所示, 模拟及试验煤质分析如表 1 所示。

表 1 煤质分析结果

Tab. 1 Coal quality analysis

工业分析/%				低位热值		元素分析/%				
M _{ad}	A _{ad}	V _{ad}	FC _{ad}	Q _{ar} /kJ·kg ⁻¹	C _{ad}	H _{ad}	O _{ad}	N _{ad}	S _{ad}	
2.00	39.80	8.27	49.94	17370	51.56	2.26	2.46	0.68	1.24	

收稿日期: 2014-08-27; 修订日期: 2014-11-24

作者简介: 吕当振(1982-), 男, 湖南长沙人, 国网湖南省电力公司电力科学研究院工程师, 工学博士。

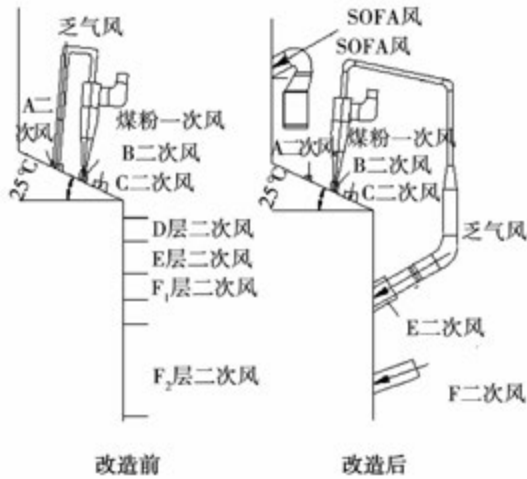


图1 锅炉改造前、后燃烧系统示意图
Fig. 1 Combustion system schematic before and after modification

2 数学模型与计算条件

2.1 数学模型

采用 Standard $k - \epsilon$ 双方程湍流模型模拟气相湍流流动;采用组分输运模型模拟气相湍流燃烧;采用颗粒随机轨道模型模拟煤粉颗粒运动;煤的热解采用双方程平行反应模型;焦炭燃烧则采用动力/扩散控制反应速率模型;辐射传热计算采用 P-1 法。模型的详细描述见文献 [8]。

对于 NO_x 的模拟,主要考虑 NO ,采用“后处理”的方法来计算 NO 生成。煤粉炉内的 NO 生成主要涉及热力型 NO 与燃料型 NO 两种机理。由于快速型 NO 占很小比例,且主要存在于富碳氢燃料的火焰中,在此处将不予考虑。热力型 NO 主要是空气中的 N_2 氧化生成的,主要受到温度、氧浓度等因素影响,可采用扩展的 Zeldovich 机理描述^[9]。对于 $[O]$ 和 $[OH]$ 基,采用部分平衡方法计算。燃料型 NO 主要是燃料中的氮元素经热解和氧化反应而生成的,是煤粉燃烧过程中 NO 的主要来源。燃料型 NO 的生成和还原过程不仅跟煤种特性、燃料中氮的官能团形式、分布形态等有关,而且还与燃烧条件,如温度和氧浓度等密切相关。燃料型 NO 采用 De Soete 模型描述^[10],燃料氮主要分布于挥发分与煤焦中,挥发分中的氮以 HCN 和 NH_3 的形式释放出来,而焦炭中的氮直接氧化转化成 NO 。

2.2 边界条件及计算方法

根据锅炉的实际物理结构尺寸进行了几何模型的建立,使用高质量的六面体网格分区划分网格。将燃烧器区域的网格加密,以降低数值计算误差。经过网格的无关性测试后,整个模型网格总数约为 385 万。

表2 燃烧系统改造前运行参数
Tab. 2 Operation parameters before combustion system modification

名称	风率/%	风速/ $m \cdot s^{-1}$	风温/K	煤粉率/%
一次风	11.11	17.98	393	90
乏气风	11.11	15.75	393	10
A 风	10.00	31.05	594	
B 风	10.00	30.07	594	
C 风	15.00	29.89	594	
D 风	4.00	5.41	594	
E 风	5.00	5.26	594	
F1 风	5.00	5.92	594	
F2 风	23.78	8.34	594	
漏风	5.00	—	300	

对满负荷下改造前、后基本工况进行了模拟计算,运行工况参数如表 2、表 3 所示。在边界条件设定中,燃烧器入口边界条件均设置为速度入口。壁面设置为温度边界。出口采用压力出口,设置为 $-60 Pa$ 。煤粉颗粒直径按照 Rosin - Rammner 方法分布,最小粒径 $5 \mu m$,最大粒径 $250 \mu m$,平均粒径 $54 \mu m$,分布指数 1.25。煤焦燃烧动力学参数前置因子为 $0.0016 kg / (m^2 \cdot s \cdot Pa)$,活化能为 $8.37 \times 10^7 J/mol$ 。

表3 燃烧系统改造后锅炉运行参数

Tab. 3 Operation parameters after combustion system modification

名称	风率/%	风速/ $m \cdot s^{-1}$	风温/K	煤粉率/%
一次风	11.11	18.44	403	90
乏气风	11.11	22.81	403	10
A 风	10.00	33.35	642	
B 风	10.00	32.50	642	
C 风	15.00	32.30	642	
E 风	7.78	32.10	642	
F 风	10.00	42.10	642	
SOFA 风	20.00	42.84	642	
漏风	5.00	—	300	

计算迭代时,先进行冷态计算获得一定程度收敛的流场,然后再进行热态计算,直至收敛。求解离散方程组的压力和速度耦合采用 SIMPLE 算法,求解方程采用逐线迭代法及低松弛因子,离散方法均采用二阶迎风格式。收敛标准为能量、辐射传热、NO、HCN 和 NH₃项计算残差小于 10⁻⁸,其余各项计算残差小于 10⁻³。

3 结果与分析

3.1 模拟结果验证

表 4 为改造后模拟结果与实验测量值的比较。可以看出,锅炉出口烟气氧量、NO_x浓度以及炉膛出口烟温的模拟结果与实验值都符合较好。在改造后氧量的模拟结果与测量值基本一致的前提下,NO_x浓度的模拟结果与测量值的相对误差为 2.93%,炉膛出口烟气温度的相对误差为 2.46%。综合表明,本研究所建立的模型、网格划分及边界条件的设置是合理的,可以用来预测该锅炉的燃烧和 NO_x排放特性。

表 4 模拟结果与实验测量值对比
Tab. 4 Comparasion of numerical and measured results

项目	烟气氧量/%	出口 NO _x /mg · Nm ⁻³	炉膛出口烟温/K
模拟结果	2.33	729	1 345
实测结果	2.55	751	1 382*

注: * 系指锅炉热力计算 ECR 工况下炉膛出口烟温

3.2 炉内燃烧特性分析

图 2 为低氮燃烧系统改造前、后煤粉喷嘴中心截面速度分布。从图 2 中可以看出,改造前、后炉内流场均清晰的形成了 W 形状,准确表现出 W 火焰锅炉炉内空气流动特性。影响炉内煤粉气流着火和下冲深度主要有 3 个回流区,分别称为炉拱回流区 (A)、背侧回流区 (B)、冷灰斗回流区 (C)。相比于改造前,低氮燃烧系统改造后具有如下特点:(1) 炉拱煤粉行程延长,下炉膛气流充满度提高,炉膛空间得到了更加充分的利用,有利于提高煤粉燃尽率;(2) 底层 F 二次风速度大、刚性强,能有效拖住炉拱下冲的气流及火焰,防止煤粉颗粒直接冲击到冷灰斗区域,影响燃尽特性;(3) 由于前、后墙水冷壁布置有乏气风以及二次风,并采用下倾送风方式,对拱

部煤粉气流产生一定的引射作用,炉拱区域回流强度明显提高,有利于卷吸高温烟气,改善煤粉的着火及稳燃特性;(4) 分离型燃尽风从上炉膛下倾送入,增强了与上升高温烟气的混合,也有利于煤粉的燃尽。

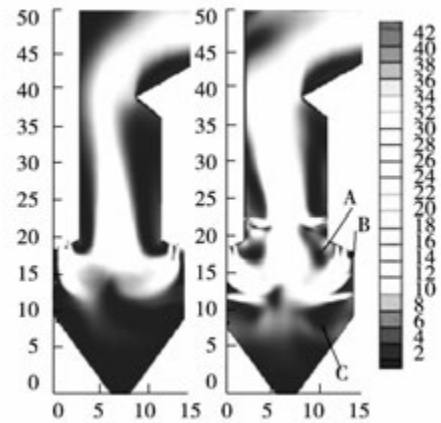


图 2 一次风中心截面流场分布 (m/s)
Fig. 2 Flow field distribution in the primary-air section (m/s)

炉内温度水平对煤粉颗粒的燃烧特性、燃尽特性及 NO_x生成影响显著。图 3 为燃烧系统改造前、后煤粉喷嘴中心截面温度分布。可以看出,炉内温度场也形成了明显 W 型,沿炉深方向基本对称。低氮燃烧系统改造后,火焰下冲深度增加,火焰充满度提高,下炉膛空间得到了更加充分的利用,有利于增加煤粉射流在下炉膛的停留时间,从而改善煤粉的燃尽特性。与此同时,下炉膛充满度的提高,有效减小了容积热负荷和局部高温,从而有效降低了热力型 NO_x的生成。此外一次风煤粉射流行程的延长,扩大了还原区,增加了煤粉颗粒在还原区的停留时间,从而更有利于抑制 NO_x生成,达到降低 NO_x排放的目的。

图 4 为燃烧器轴线温度分布的结果,根据气体温度达到 1 000 K 时认为是煤粉的着火点^[11-12],可以计算得到煤粉的着火距离。从图中可以看出,煤粉气流的着火距离由改造前的 2.50 m 缩短为改造后的 1.60 m,煤粉着火距离显著缩短,从而增强了煤粉着火及稳燃性。分析其原因,低氮改造后主燃烧区域二次风对煤粉气流的引射作用得以加强,炉拱回流区气流回流强度增加,促进了煤粉气流卷吸更多的高温烟气,煤粉升温速率加快,挥发分析出

后,快速达到着火温度,从而缩短了煤粉的着火距离。

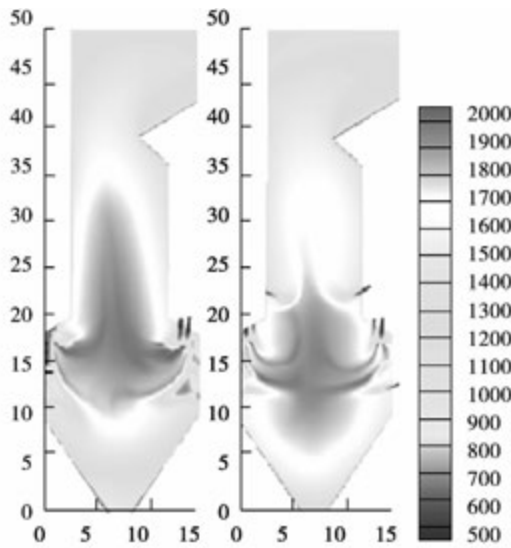


图 3 一次风中心截面温度分布(K)
Fig. 3 Flow field distribution in the primary-air section(K)

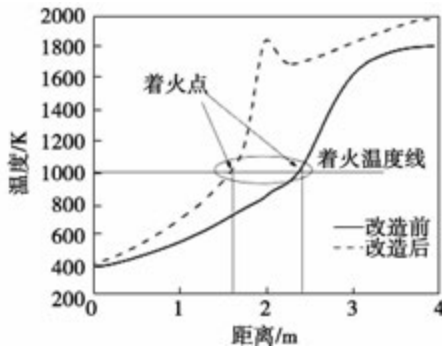


图 4 一次风燃烧器轴线上温度分布
Fig. 4 Temperature distribution at the axis of primary-air burner

图 5 为低氮燃烧系统改造前、后沿炉膛高度方向平均温度的分布。从图中可以看出,平均温度沿炉膛高度分布趋势基本一致,在炉膛冷灰斗区域随着高度增加,温度迅速升高;在主燃烧区域达到最高,由于不同阶段风的混入出现一些温度波动;在燃尽区由于烟气与水冷壁以及大屏过热器的换热,平均温度随着炉膛高度增加逐渐降低。与改造前相比,改造后在冷灰斗及主燃烧下部区域平均温度有显著的提高,这说明改造后下炉膛得到了更加充分的利用,从而有利于改善煤粉颗粒的燃烧及燃尽特

性。改造后上炉膛区,由于 SOFA 的混入使得炉拱上方区域温度有所降低,但由于未燃尽煤焦以及 CO 继续燃烧,温度又有所上升。

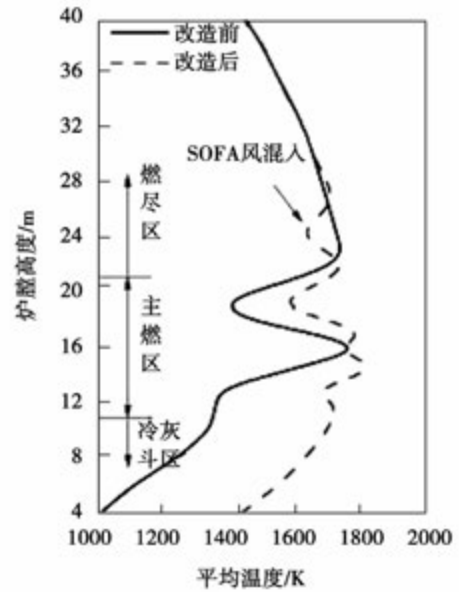


图 5 沿炉膛高度平均温度分布曲线
Fig. 5 Average temperature distribution along the furnace height

图 6 为沿炉膛高度方向平均氧量的分布。改造前主燃烧区域过量空气系数为 1.14,处于富氧气氛。低氮改造后,主燃烧区域氧气浓度明显降低,主燃烧区域过量空气系数为 0.80 左右,处于富燃料贫氧气氛。在下炉膛乏气风、F 二次风气流引射作用下,下炉膛空间得到充分利用,更多的煤粉颗粒在下炉膛燃烧,因此氧气含量较改造前大幅度降低,分布也更均匀。与此同时,占二次风总量 20% 左右的燃尽风从上炉膛 SOFA 风喷嘴 ($z = 23\text{ m}$) 送入,氧气浓度有所增加,保证了煤粉的后期燃尽;随着炉膛高度的增加,煤焦和 CO 继续燃烧消耗氧气,氧气浓度逐渐降低。

图 7 为低氮燃烧系统改造前、后沿炉膛高度方向 CO 浓度的分布。可以看出,与改造前相比,采用深度分级送风后,一次风煤粉射流的行程延长,还原区范围相对扩大,在冷灰斗区域还能保持较高 CO 浓度水平。主燃烧区处于富燃料贫氧气氛,不完全燃烧产生大量的 CO,在炉膛高度 $z = 15\text{ m}$ 左右达到峰值,相比于改造前,CO 峰值浓度明显升高,高浓度的 CO 使该区域处于强还原性气氛,能及时与 NO

发生还原反应,从而达到降低 NO_x 排放的目的。同时从炉膛出口 CO 排放浓度来看,低氮改造前、后炉膛出口 CO 浓度无明显变化,说明低氮改造对锅炉燃烧经济性无明显影响。

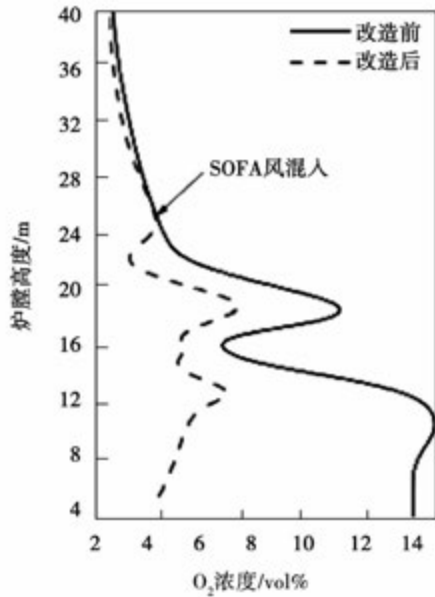


图 6 沿炉膛高度平均氧量变化曲线
Fig. 6 Average O₂ concentration distribution along the furnace height

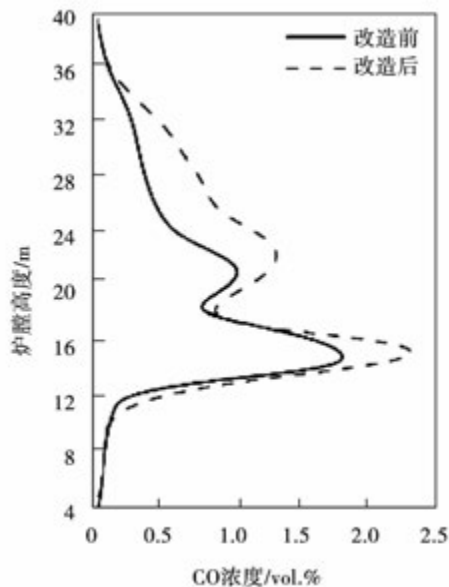


图 7 沿炉膛高度平均 CO 浓度分布曲线
Fig. 7 Average CO concentration distribution along the furnace height

图 8 为低氮燃烧系统改造前、后 NO_x 沿炉膛高度不同截面的平均浓度分布曲线。从图中可以看出,改造前、后沿炉膛高度的平均 NO_x 分布趋势是基本一致的。在主燃烧区域,煤粉进入炉膛后迅速着火燃烧,煤中含氮有机物解析出,其转化过程大致分为两个阶段:挥发分析出阶段和焦炭燃烧析出阶段^[13],因此燃料中氮生成 NO_x 可分为两个阶段:挥发分均相生成阶段和焦炭异相生成阶段。挥发分析出过程中释放的 HCN 和 NH₃ 与 O₂ 发生反应生成 NO_x;在焦炭燃烧过程中焦炭中有机氮 N 被氧化生成 NO_x;同时,当炉膛燃烧温度足够高时(大于 1 350 ℃),空气中的 N₂ 会与 O₂ 发生反应生成大量的 NO_x。从图 8 中可以看出,低氮改造后 NO_x 曲线呈现两个明显波峰,第一个较陡($z = 15\text{ m}$) 峭波峰形成主要是由于挥发分快速析出和焦炭燃烧所致,此时 NO_x 集中生成;第二个波峰($z = 23\text{ m}$) 主要是由于燃尽风的混入,焦炭中 N 被氧化生成 NO_x。主燃烧区域过量空气系数为 0.8 左右,燃烧处于富燃料贫氧条件,导致不完全燃烧生成大量 CO,处于还原性气氛条件,NO_x 又会与 HCN、NH₃ 和煤焦发生还原反应,NO_x 被还原,所以在两个波峰之后 NO_x 浓度都有所降低。

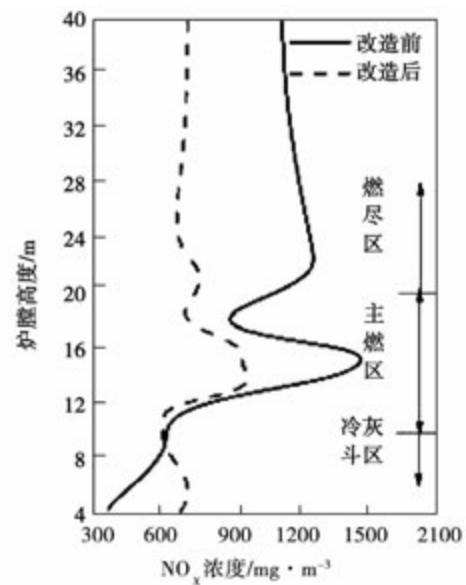


图 8 沿炉膛高度平均 NO_x 浓度
Fig. 8 Average NO_x concentration distribution along the furnace height

改造前由于供氧较为充足,燃烧集中在主燃烧区域,CO 浓度较低,还原性气氛较弱,对 NO_x 生成的抑制作用不明显,在炉膛高度截面 $z = 15 \text{ m}$ 附近燃烧最为剧烈, NO_x 浓度达到峰值;上炉膛区域随着炉膛高度增加, NO_x 浓度缓慢降低, $z = 35 \text{ m}$ 之后基本保持不变。低氮改造后,在炉膛高度截面 $z = 15 \text{ m}$ 附近 NO_x 浓度峰值比改造前 NO_x 峰值明显降低,这是由于下炉膛区域处于贫氧条件,氧气浓度低,不完全燃烧产生还原性气氛,及时还原已生成的 NO 。与此同时,由于 SOFA 风的送入,焦炭中 N 被进一步氧化生成 NO_x , NO_x 浓度又有所增加,之后逐渐降低。

数值模拟结果表明:低氮燃烧系统改造后,主燃烧区域形成了良好的富燃料贫氧环境, NO_x 生成浓度显著降低,计算结果显示炉膛出口 NO_x (干基,标态,6% O_2) 排放浓度为 729 mg/m^3 ;而现场试验也表明:低氮燃烧调整后炉膛出口 NO_x 排放浓度为 751 mg/m^3 ,相比于低氮改造后不投入燃尽风的习惯运行方式(排放浓度为 1501 mg/m^3),降幅达到 50% 左右。

图 9 和图 10 为一次风及乏气风喷嘴煤粉颗粒停留时间和飞灰含碳量统计结果。由于统计粒子停留时间是以炉膛出口为计算域出口,可能比实际运动时间要长,但不影响结果的分析。结果表明:低氮改造后,一次风煤粉颗粒行程变长,停留时间由改造前的 8.41 s 增加到 10.49 s ,这有利于煤粉燃烧与燃尽,但由于改造后主燃烧区域为富燃料贫氧环境,一次风煤粉燃尽受到一定影响,飞灰含碳量由改造前的 0.89% 增加到 2.01% 。乏气风下移后,乏气煤粉颗粒行程延长,停留时间由改造前的 5.51 s 增加到 8.67 s ,同时,由于颗粒行程及停留时间增加,乏气煤粉燃烧更为充分,飞灰含碳量由改造前的 2.08% 降低到 0.29% 。总煤粉颗粒统计结果来看,煤粉颗粒停留时间从改造前 8.01 s 增加到 9.44 s ,停留时间显著增加;飞灰含碳量从 0.94% 增加到 1.96% ,燃尽率有所降低。现场试验也表明:低氮燃烧调整后炉膛出口飞灰含碳量为 4.22% ,相比于低氮改造后不投入燃尽风的习惯运行方式(飞灰含碳量为 2.95%),飞灰含碳量有所增加。由于实际煤粉颗粒的燃烧比模拟简化条件下更为复杂,飞灰含碳量的模拟结果与测量值有一定的差异。

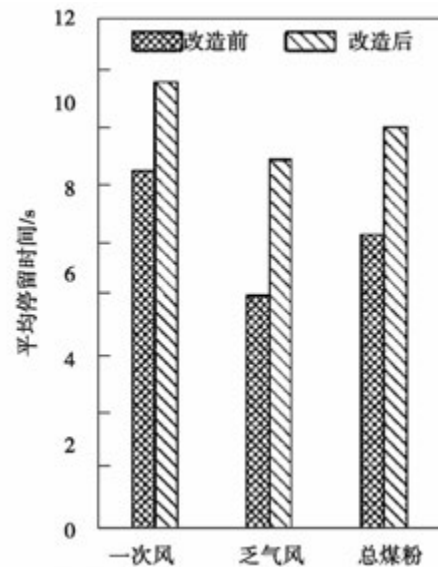


图 9 一次风、乏气风喷嘴及总煤粉颗粒停留时间
Fig. 9 Resident time of primary - air, vent - air pulverized - coal particles and total pulverized - coal particles

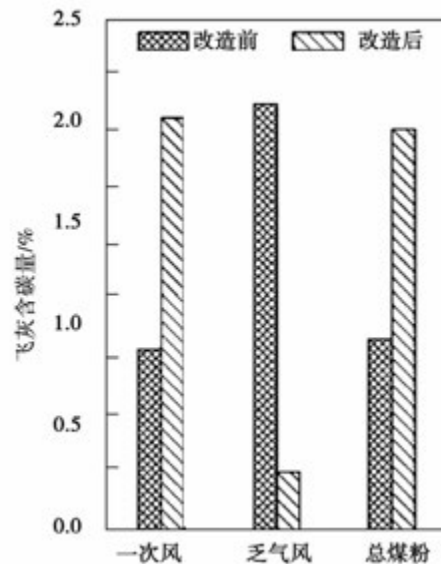


图 10 一次风、乏气风喷嘴及总煤粉颗粒
飞灰含碳量
Fig. 10 Carbon content in fly ash of primary - air, vent - air pulverized - coal particles and total pulverized - coal particles

4 结 论

对某电厂 600 WM 亚临界 W 型火焰燃煤锅炉

低氮改造前、后炉内的流动、燃烧、传热及 NO_x 排放特性进行了数值模拟和现场试验,结果表明:增设 SOFA 以及采用乏气风下移的改造策略,提高了炉拱区域回流强度和煤粉气流卷吸高温烟气的的能力,从而缩短了着火距离,改善了火焰着火和稳燃特性。与此同时低氮改造后,二次风对煤粉气流的引射作用得到加强,火焰下冲深度增加,煤粉颗粒炉内停留时间增加,从而提高了下炉膛火焰充满度和改善了煤粉燃尽特性,但由于下炉膛处于贫氧环境,燃烧效率受到了一定影响。现场试验结果表明,低氮燃烧调整后炉膛出口 NO_x 排放浓度为 751 mg/m^3 ,相比于低氮改造后不投入燃尽风的习惯运行方式(1501 mg/m^3),降幅达到 50% 左右。

参考文献:

- [1] 郭永红. 超细粉再燃低 NO_x 燃烧技术的数值模拟与实验研究 [D]. 北京: 华北电力大学, 2006.
GUO Yong-hong. Numerical simulations and experiments of low- NO_x technique by micronized coal reburning [D]. North China Electric Power University (Beijing), 2006.
- [2] 曾汉才. 大型锅炉高效低 NO_x 燃烧技术的研究 [J]. 锅炉制造, 2001, 16 (1): 1-11.
ZENG Han-cai. Study on large-capacity boiler high efficiency low NO_x combustion technology [J]. Boiler Manu Facutring, 2001, 16 (1): 1-11.
- [3] 刘志超. 燃煤锅炉 NO_x 排放浓度影响因素的试验和分析 [J]. 电站系统工程, 2006, 21 (5): 30-31.
LIU Zhi-chao. Test and analysis on the factors influencing NO_x emission of coal boilers [J]. Power system engineering, 2006, 21 (5): 30-31.
- [4] 方庆艳, 周怀春, 汪华剑. W 火焰锅炉结渣特性数值模拟 [J]. 中国电机工程学报, 2008, 28 (23): 1-7.
FANG Qing-yan, ZHOU Huai-chun, WANG Hua-jian. Numerical simulation of the ash deposition characteristics in a W-flame boiler furnace [J]. Proceeding of the CSEE, 2008, 28 (23): 1-7.
- [5] Min Kuang, Zheng-qi Li, Zhong-qian LING, et al. Impact of over-fire air location on combustion improvement and NO_x abatement of a down-fired 350 MW utility boiler with multiple injection and multiple staging [J]. Energy&fuels, 2011, 25 (15): 4322-4332.
- [6] Kuang M, Li Z, Xu S. Improving combustion characteristics and NO_x emissions of a down-fired 350 MW utility boiler with multiple injection and multiple staging [J]. Environmental science and technology, 2011, 45 (8): 3803-3811.
- [7] 高正阳, 孙小柱, 宋 玮, 等. W 火焰锅炉结构效应对火焰影响的数值模拟 [J]. 中国电机工程学报, 2009, 29 (29): 13-18.
GAO Zheng-yang, SUN Xiao-zhu, SONG Wei, et al. Numerical simulation on the effect of structure on flame for W flame boiler [J]. Proceeding of the CSEE, 2009, 29 (29): 13-18.
- [8] Pratt D T, Smoot L D, Pratt D T. Pulverized coal combustion and gasification [M]. New York: Plenum Press, 1979.
- [9] Hill S C, Douglas Smoot L. Modeling of nitrogen oxides formation and destruction in combustion systems [J]. Progress in Energy and Combustion Science, 2000, 26 (4): 417-458.
- [10] DeSoete G G. Overall reaction rates of NO and N_2 formation from fuel nitrogen [C]. Symposium (international) on combustion. Elsevier, 1975, 15 (1): 1093-1102.
- [11] Sheng C, Moghtaderi B, Gupta R. A computational fluid dynamics based study of the combustion characteristics of coal blends in pulverised coal-fired furnace [J]. Fuel, 2004, 83 (11): 1543-1552.
- [12] Gera D, Mathur M, Freeman M. Parametric sensitivity study of a CFD-based coal devolatilization model [J]. Energy and fuels, 2003, 17 (3): 794-795.
- [13] 李 钧, 阎维平, 李春燕, 等. 基于数值计算的煤粉锅炉 NO_x 释放规律研究 [J]. 中国电机工程学报, 2009, 23: 13-19.
LI Jun, YAN Wei-ping, LI Chun-yan, et al. Study on NO_x emission characteristics of pulverized coal fired boiler [J]. Proceeding of the CSEE, 2009, 29 (23): 13-19.

(姜雪梅 编辑)

- 587 - 592

In this paper, using $k-\epsilon$ model, DPM model and SIMPLE algorithm in Fluent analysis software, a numerical simulation is carried on a WFGD tower's internal three-dimensional flow field. It puts forward a new type of tangential spray method, comparing and analyzing the different pattern of the conventional spray and tangential spray. And it researches the distribution of smoke flow at the different inlet velocity in circular spray tower. The results show that the new type of tangential spray arrangement on the tower flue gas velocity field distribution has better optimization effect, and it gets a even flow field distribution when the velocity of inlet flue gas is 4 m/s at given operating condition. The droplet area increases with the increase of flue gas inlet velocity, and the best inlet flue gas velocity is existed for getting a flow field of best uniformity at different operating conditions. **Key words:** tangential spray, desulfurization tower, numerical simulation

600 MW 亚临界 W 型火焰锅炉低氮燃烧特性数值模拟 = **Numerical Simulation on Low-NO_x Combustion Characteristics in a 600 MW Subcritical W-shaped Boiler** [刊, 汉] LV Dang-zhen, DUAN Xue-nong(State Grid Hunan Electric Power Corporation Research Institute, Changsha, China, Post Code: 410007) , MA Lun , FANG Qing-yan(The State Key Laboratory of coal combustion, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan, China, Post Code: 430074) //Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -2015, 30(4) . -593 - 597

In this paper, the characteristics of the flow, combustion and NO_x emissions were numerically investigated in a 600 MW subcritical W-shaped boiler under before and after retrofit. The simulated results are in good agreement with the measured results. The results showed that the vent-air was moved down from the arch, injecting into the furnace with a declined angle, and the declined F-secondary air was injected, which had a great guiding effect on the pulverized coal, the entrained heat was enhanced and the distance of pulverized-coal particle ignition was significantly shortened, which led to improve the ignition and combustion stability. Meanwhile, Low-NO_x Modification strengthened the injecting effect of the secondary air on the pulverized coal and increased the coal-pulverical residence time to promote the combustion. In addition, the separated over-fired air (SOFA) was injected with a declined angle, which achieved the fractional combustion of air depth. And this made the main combustion zone was in fuel-rich reducing atmosphere, and the generated NO was effectively reduced. The industrial measurement results showed that the air-staging technique could reduce about half of the NO_x emission from 1 501 mg/m³ (without SOFA) to 751 mg/m³ (with suitable ratio of SOFA). **Key words:** W-shaped boiler, low-nitrogen retrofit, NO_x emission, com-

bustion characteristics, numerical simulation

带分流短叶片离心泵内流场分析 = **Research on Inner Flow Field of Centrifugal Pump with Splitter Blades**

[刊,汉] XIA Mi-mi, LAI Xi-de, LUO Bao-jie, LI Jing-yue (School of Energy and Power Engineering, Xihua University, Chengdu, China, Post Code: 610039) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 2015, 30 (4). - 598 - 604

Three different long blades of low-specific-speed centrifugal pump were chosen by performance characteristics contrast, and the different splitter blades were based on the prototype pump. The inner flow law was discovered due to the pressure and velocity distribution of flow field unsteady simulation of centrifugal pump with splitter blades. By the analysis of monitoring points of inner volute, the pressure pulsation time domain and frequency domain characteristics were acquired. The results showed that pressure and velocity distribution are improved, and the pressure pulsation amplitude in volute outlet and cut-water were obviously reduced. As the pump flow loss reduced, head and efficiency were also improved by 22.3% and 8.1%. The pump performance was best when the splitter blades inlet diameter is 0.65 D₂, inlet bias angle was 5°, and outlet bias angle was 0°. **Key words:** centrifugal pump, splitter blades, performance, pressure pulsation

一种新型低 NO_x 燃烧技术在贫煤改烧烟煤中的应用 = **Application of a New Low-NO_x Combustion Technology for a 330 MW Lean-coal Utility Boiler Burning a Bituminous Coal** [刊,汉] WANG Hua-jian, ZHOU

Hong-guang, DENG Ling-hui (Xi'an Thermal Power Research Institute Co., Ltd., Xi'an, Shanxi, China, Post Code: 710032), FANG Qing-yan (State Key Laboratory of Coal Combustion, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan, Hubei, China, Post Code: 430074) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 2015, 30(4). - 605 - 610

A 330 MW tangential lean-coal boiler with middle-storage coal-milling system for burning a bituminous coal was transformed technologically. By making fully use of the characteristics of the coal pulverizing, coal transporting and combustion systems, a new integrated and extensive coal-adaptability low-NO_x combustion system is designed. The low-primary-air-ratio combustion is conducted with a coal pulverizing system using flue gas drying and with a coal transporting system combining tertiary and hot air. In addition, combining separated over fire air and high-speed over fire air from a spare part of high pressure primary air, the deep-air-staging combustion is carried out. After retro-